Ueber die Wärme,

welche durch periodisch wechselnde magnetisirende Kräfte im Eisen erzeugt wird.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER PHILOSOPHISCHEN DOCTORWÜRDE

VORGELEGT DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FACULTÄT

DER

ALBERT-LUDWIGS-UNIVERSITÄT ZU FREIBURG i. B.

VON

LUDWIG HÖNIG

AUS

DARMSTADT

HESSEN.

FREIBURG IN BADEN
UNIVERSITÄTS-BUCHDRUCKEREI VON H. M. POPPEN & SOHN
1885.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41550827_0094

Seinen theuren Eltern

in

dankbarer Liebe gewidmet

vom Verfasser.

§ 1.

Im Jahre 1843 untersuchte Joule zuerst die Eigenschaft des Eisens, sich zu erwärmen, wenn es periodisch wechselnden magnetisirenden Kräften unterworfen wird, und es haben seitdem verschiedene Physiker Messungen über diesen Gegenstand angestellt.[1])

Die periodische Aenderung der magnetisirenden Kraft kann man sich hervorgebracht denken durch eine periodische Bewegung permanenter Magnete.[2]) Wird dann vorausgesetzt, dass ausser der zur Untersuchung benutzten Eisenmasse keine Leiter der Electricität gegenwärtig sind, so hat Herr Professor Warburg in der eben citirten Abhandlung gezeigt, dass die im Eisen erzeugte Wärme das Aequivalent der Arbeit A ist, welche aufgewandt wurde, um den periodischen Wechsel der magnetisirenden Kraft hervorzubringen. Dabei ist eine unserer Erfahrung entsprechende Annahme vorausgesetzt, nämlich die, dass der Zustand

---

[1]) Joule, Phil. Mag. Vol. XXIII. 1843. — van Breda, C. R. T. XXI, p. 961. Pogg. Ann. 68, p. 552. 1846. — Grove, Phil. Mag. Vol. XXXV, p. 153. 1849. Pogg. Ann. 78, p. 567. — Edlund, Pogg. Ann. 123, p. 205. 1864. — Villari, Nuovo Cimento. Ser. II, Vol. IV. 1870. — Herwig, Wied. Ann. IV, p. 177. 1878, — Cazin, Ann. ch. et phys. (5) T. VI, 493—554. — Trowbridge, Proc. of the Americ. Academy of Arts and Sciences, new. ser. Vol. VI. Boston 1879, p. 114—121. — Pilleux, C. R. 94, p. 946. 1882.

[2]) Warburg, Freiburger Ber. Bd. VIII, Heft 1. Wiedemann Ann. 13. 141. 1880.

des Eisens nicht geändert worden ist, wenn die magnetisirende Kraft einen Cyclus von Werthen durchlaufen hat und die durch den Cyclus hervorgebrachte Temperaturerhöhung durch Entziehung der producirten Wärme aufgehoben ist.

Bleibt die magnetisirende Kraft über die Eisenmasse hin constant, und ändert sich dieselbe während des Cyclus nur der Grösse und nicht der Richtung nach, dann wird obige Arbeit durch einen einfachen Ausdruck angegeben. Bezeichnet nämlich m die Componente des magnetischen Moments nach der Richtung von K und K den Werth der magnetisirenden Kraft, so ist

$$A = -\int m \, d \, K$$

wo das Integral über den ganzen Cyclus der magnetisirenden Kraft ausgedehnt ist von dem Anfangswerthe von K bis zum gleichen Endwerthe.

Stellt man sich also die verschiedenen Werthe des magnetischen Moments als Function der magnetischen Kraft graphisch dar, so ist der Inhalt der von der Curve umschlossenen Fläche gleich dem Werthe der Arbeit A in absolutem Maasse.

Wir wollen annehmen, dass der Cyclus der magnetisirenden Kraft in zwei Theile zerlegt werden kann, in deren erstem die magnetisirende Kraft K von einem Werthe K_0 bis zu einem K_1 ansteigt in deren zweitem sie von K_1 bis zu K_0 wieder abnimmt. Die oben genannte Arbeit würde 0 sein, wenn für dieselben Werthe K zwischen K_0 und K_1 die Werthe der magnetischen Momente m einerlei ob K im Wachsen oder im Fallen begriffen wäre, dieselben wären.

Es sind aber drei Ursachen vorhanden, welche bewirken, dass die Werthe von m für dieselben Werthe der magnetisirenden Kraft, je nachdem dieselbe im Steigen oder Fallen begriffen ist, verschieden sind.

Die erste Ursache ist die Coërcitivkraft, die allein wirksam ist, wenn die Aenderung der magnetisirenden Kraft in dem Cyclus unendlich langsam vor sich geht. Für diesen Fall hat in der schon erwähnten Abhandlung Herr Prof. Warburg gezeigt, dass die producirte Wärme durch statische magnetische Versuche gemessen werden kann. Diese von der Coërcitivkraft allein herrührende Wärme werde mit dem Namen magnetische Frictionswärme bezeichnet. Das Experiment hat festzustellen, ob sich die magnetische Frictionswärme ändert, wenn der Cyclus mit endlicher Geschwindigkeit durchlaufen wird, und in welcher Weise diese Geschwindigkeit und die Frictionswärme von einander abhängen.

Die zweite Ursache ist die Eigenschaft des Eisens ein electrischer Leiter zu sein, und diese Eigenschaft tritt in Wirkung, wenn die Aenderung der magnetisirenden Kraft im Cyclus mit endlicher Geschwindigkeit statt hatt. Durch den Wechsel der magnetisirenden Kraft und durch die von dem Wechsel bedingte Aenderung des magnetischen Zustandes bilden sich in der Masse des Eisens Ströme, die beim Aufsteigen der Kraft das Aufsteigen des Moments und beim Abfall der Kraft den Abfall des Moments verzögern. Diese durch die zweite Ursache bedingte Wärme mag die electromagnetische heissen.

Eine dritte Ursache ist die Eigenschaft des Eisens, nach welcher die Magnetisirungszahl sich mit der Temperatur ändert. Hieraus ergibt sich nach dem Carnot'schen Princip, wie Thomson gezeigt hat,[1]) dass beim Magnetisiren eine Wärmeproduction oder Absorption eintritt, je nachdem die Magnetisirungszahl mit wachsender

[1]) Phil. Mag. (5) Vol. V, p. 25. 1878.

Temperatur ab- oder zunimmt. Ist nun der Zustand einer Eisenmasse nur von zwei Variabeln der Temperatur und der magnetisirenden Kraft K abhängig, und lässt man diese Masse einen Kreisprocess durchmachen, so wird das Integral $-\int m\, d\, K$ im Allgemeinen einen positiven Werth haben und nur $= 0$ sein, wenn eine feste Relation $f\ (t\ K)$ zwischen t und K besteht, z. B. wenn der Kreisprocess bei constanter Temperatur vor sich geht.

Es ist nun Zweck vorliegender Untersuchung, die durch die Aenderung des magnetischen Zustandes des Eisens producirte Wärme in einem einfachen Fall zu messen und womöglich zu bestimmen, wie viel von der beobachteten Wärme auf jede der drei bezeichneten Ursachen der Wärmeproduction entfällt.

---

§ 2.

Zur Bestimmung der magnetischen Momente und der magnetisirenden Kräfte wurde nach folgender Methode verfahren.

Die zu untersuchenden Eisenmassen lagen in einer Magnetisirungsspirale, deren Axe senkrecht zum magnetischen Meridian stand. Die Spirale bestand aus isolirtem Kupferdraht, der in 1979 Windungen in drei Lagen übereinander gewickelt war. Die Länge der Spirale betrug 50 cm. und konnte daher das Magnetfeld als homogen angesehen werden, da die symmetrisch zu den Spiralenden eingelegten Drähte nur 11 cm. Länge hatten. Durch Variirung des eingeschalteten Leitungswiderstandes mittels zweier mit verschiebbaren Quecksilbercontacten versehener, dünner Platindrähte wurden die Aenderungen der magnetisirenden Kraft

von o bis K und von K bis o bewerkstelligt und für eine Anzahl von Werthen K' K'' K''' etc. zwischen o und K die inducirten Momente bestimmt durch die Ablenkung einer kleinen mit Luftdämpfung versehenen Magnetnadel, in Bezug auf welche sich die Spirale und die Eisenmassen in der zweiten Hauptlage befanden. Die Nadel hing an einem Coconfaden von zu vernachlässigender Torsionskraft. Durch mehrere in den Stromkreis eingeschaltete, seitlich zur Magnetometernadel stehende Drahtwindungen wurde die Ablenkung, welche die Magnetisirungsspirale für sich hervorbrachte, compensirt und zwar für alle vorkommenden Gleichgewichtslagen der Nadel. Die Berechnung der Momente geschah nach der Formel

$$m = \frac{E^3 H \, tg \, \varphi}{k} \text{ wo } k = 1 - \frac{3}{8}\left(\frac{L}{E}\right)^2 + \frac{3}{2}\left(\frac{l}{E}\right)^2$$

Es bedeutet:

E die Entfernung des Mittelpunktes der Nadel vom Mittelpunkt der ablenkenden Eisendrähte,

φ der Winkel um den die Nadel aus dem Meridian abgelenkt wird,

l die Länge der Magnetometernadel,

L die Länge der Eisendrähte resp. den Abstand der Pole derselben,

H die Horizontalcomponente des Erdmagnetismus in Freiburg.

Es sind dabei die Pole als an den Enden der Eisenmassen liegend angenommen.

Bezeichnet:

n die Windungszahl der magnetisirenden Spirale,

i die Intensität des magnetisirenden Stromes,

h die Diagonale der Spirale, so ist

$$K = \frac{4 \pi n i}{h}$$

die magnetisirende Kraft.[1]) Zur Bestimmung der Intensität *i* im *c. g. s.* System diente eine Tangentenbussole mit Spiegelablesung. Das Untersuchungsmaterial bestand aus folgenden Eisenmassen.

No. 1. Ein Bündel Blumendraht, bestehend aus 370 Drähten von je 0,02278 cm. Durchmesser und einem Gesammtgewicht von 14,767 g.

No. 2. Geglühter englischer Holzkohlendraht. Bündel von 150 Drähten vom Durchmesser 0,0674 cm. und einem Gewicht von zusammen 14,474 g.

No. 3. Ein Eisenstab von 0,4 cm. Durchmesser und einem Gewicht von 13,010 g.

No. 4. Ein Eisenstab von 0,7 cm. Durchmesser und 39,322 g. Gewicht.

No. 5. Ein Bündel aus 12 Eisenlamellen von je 0,0165 cm. Dicke, 0,7 cm. Breite und einem Gesammtgewicht von 12,995 g. Die Länge der Drähte und Lamellen war die gleiche, nämlich 11 cm. Vor dem Versuche wurden alle Eisenmassen in einer Porcellanröhre geglüht und die einzelnen Stücke der Bündel mit einer isolirenden Schicht von Schellackfirniss überzogen.

---

§ 3.

Zur experimentellen Bestimmung der Wärme, die bei Aenderung des magnetischen Zustandes in einer Eisenmasse producirt wird, suchte ich mich des Bunsen'schen Eiscalorimeters zu bedienen. Bei der Anordnung der Versuche musste Sorge getragen werden, dass die in der Magnetisirungsspirale selbst erzeugte Wärme nicht zu dem calorimetrischen Apparat ge-

---

[1]) Weber, Electrodyn. Maassbestimmungen insbes. über Diamagnetismus, pag. 546.

langen konnte; dieses wurde vollständig erreicht durch die von Schuller und Wartha für die Einrichtung des Bunsen'schen Calorimeters angegebene Methode. [1])

Um ein cylindrisches Zinkgefäss Z_1 von 30 cm. Höhe und 9 cm. Durchmesser war die magnetisirende Spirale gewunden. Da dieses Gefäss später in Eis zu stehen kam, so musste die Spirale vor dem Schmelzwasser geschützt werden. Dieses geschah dadurch, dass über die Spirale ein Blechmantel gelegt war, der oben und unten mit dem Gefässe Z_1 verlöthet war und nur eine Oeffnung zum Ausgang der Spiralenden hatte. Die Spirale befand sich also zwischen der inneren und äusseren Wandung eines Hohlcylinders geschützt. Das Gefäss wurde mit kaltem destillirtem Wasser gefüllt und mit einem Deckel verschlossen, durch den eine unten geschlossene 5 cm. weite und 26 cm. lange Zinkröhre Z_3 ging, die sich an ihrem oberen Rande dicht an das Blech des Deckels anlegte. Die Röhre wurde mit einer aus Eis und Salz hergestellten Kältemischung gefüllt und das ganze Gefäss Z_1 in eine eben solche gestellt. Nach Verlauf einer halben Stunde war die innere Wandung von Z_1 mit einem Eiscylinder von 2 cm. Wandstärke bekleidet. Die Kältemischung wurde nun aus Z_3 entfernt und durch lauwarmes Wasser ersetzt, so dass die Röhre Z_3 aus dem angefrorenen Eiscylinder gezogen werden konnte.

Der Hohlraum des Eiscylinders wurde mit destillirtem Wasser von 0^0 gefüllt und in dieses das Calorimeter eingetaucht. Das Gefäss Z_1 mit dem Calorimeter wurde nun in ein zweites Gefäss Z_2 gestellt und der Zwischenraum zwischen Z_1 und Z_2 mit fein zerschlagenem und geschabtem Eis ausgefüllt. Das Gefäss Z_2 stand nun wiederum in einer grösseren Holz-

[1]) Ber. d. d. chem. Gesellschaft 1875. Bd. 8, pag. 104.

kiste, die mit etwa nussgrossen Eisstücken gefüllt war, so dass aus dem Eise nur die Enden der Magnetisirungsspirale und die Capillare des Calorimeters hervorragten. Das Calorimeter wurde gehalten durch einen Deckel, der das Gefäss *Zi* verschloss und zwei Oeffnungen hatte, durch die die äussersten Theile des Calorimeters gingen, an die er sich fest anschloss. Im Anfang der Untersuchung wurde eine grosse Inconstanz des Calorimeters beobachtet, davon herrührend, dass der Schmelzpunkt des Eises in Berührung mit Zink durch Bildung von Zinkoxyd eine Erniedrigung erfährt. Durch Ueberziehen des Gefässes mit einer dicken Asphaltlackschicht wurde diesem Uebelstande abgeholfen.

Um bequem eine grosse Anzahl von schnellen Aenderungen des magnetisirenden Stromes hervorrufen zu können, wurde ein Apparat benutzt, den Fig. 1 in $^1/_3$ nat. Grösse zeigt. Derselbe besteht aus zwei Theilen, aus einem Hammerapparat und einem Interruptor.

1. Der Hammerapparat. Ueber einem Electromagneten *E* befindet sich der Anker *A*, der durch den Arm *H* fest mit der Feder *F* verbunden ist. *H* ist am andern Ende nach unten gebogen und taucht beim Neigen der Feder nach der einen Seite bei *d* in Quecksilber, hebt jedoch diesen Contact beim Neigen nach der anderen Seite auf. Der Contact des Drahtes *H*, mit *e* wird beim Spiel der Feder nicht aufgehoben. Das eine Ende des Spiralendrahts des Electromagneten taucht in das Quecksilber bei *d*, während das andere Ende verbunden ist mit dem einen Pole eines Elementes, dessen anderer Pol durch *b C* mit *e l* in Verbindung steht. Aus dieser Anordnung ist ersichtlich, wie das Spiel der Feder unterhalten wird; ist *H* bei *d* im Contact, so wird der Strom geschlossen, der

Anker A wird angezogen, der Contact hierdurch unterbrochen u. s. w.

2. Der Interruptor. Mit der Feder F fest verbunden ist das Holzstück $G\,G$, das senkrecht zu seiner Längsaxe zwei Kupferdrähte $l_1\ l_2$, $l_3\ l_4$ trägt, deren Enden nach unten gebogen sind, so dass beim Spiel der Feder F einmal die Enden $c_1\ c_2$ im Contact mit dem Quecksilber in a und f, das andere Mal mit den Enden $c_3\ c_4$ im Contact mit e und h stehen. In der Mitte $l_1\ l_2\ l_3$ und l_4 sind zwei nach unten gehende Drähte $d_1\ d_2$ angelöthet, die beständig in Quecksilber tauchen. Schliesslich ist noch das Quecksilber in h mit dem in e leitend durch den Draht D verbunden und das in e mit dem in f durch D^1. Mit den Polen der den magnetisirenden Strom liefernden Batterie sind b und g verbunden, während die magnetisirende Spirale in L und L_1 eingeschaltet ist. L und L_1 sind verbunden mit a und f.

Kommt der Strom von B, so ist bei Neigung der Feder nach dem Electromagneten hin, also bei Contact von c_2 und c_4 mit e und h, der Lauf des Stromes der folgende: Von B durch $d_2\ l_4$ nach h, durch D nach a zur Klemme L, von hier durch die Spirale nach L_1 zu f, durch D^1 zu C über l_2 und d_1 durch B_1 zum andern Pol der Säule. Ist die Feder nach der andern Seite geneigt, so dass Contact von c_1 und c_3 mit a und f statt hat, dann geht der Strom von B nach g durch d_2 und l_3 nach f zu L_1, von hier durch die Spirale nach L durch $a\ l_1\ d_1$ zum Napfe b und von hier zur Säule zurück. Der Strom fliesst also bei der einen Neigung der Feder im Sinne von L nach L_1 durch die Spirale, bei der andern in dem Sinne L_1 nach L; ich will diese Art der Unterbrechung eines Stromes und darauffolgender Umkehr der Richtung und Wiederöffnung desselben in der Folge mit Umschaltung

bezeichnen. Wird die Verbindung D^1 von f mit c gelöst, so ist beim Spiele der Feder nur ein einfaches Oeffnen und Schliessen des in derselben Richtung fliesenden Stromes vorhanden, diese Art der Unterbrechung sei Ausschaltung genannt. Bei der Ausschaltung durchläuft die magnetisirende Kraft einen einfachen Cyclus von 0 zu einem Maximum aufsteigend und dann wieder nach 0 hin abfallend. Bei der Umschaltung dagegen durchläuft die Kraft einen doppelten Cyclus, indem sie von 0 über ein Maximum steigend nach 0 abfällt, dann ein Maximum im entgegengesetzten Sinne durch die umgekehrte Stromrichtung erreicht und dann wieder 0 wird.

Schliesslich sei noch bemerkt, dass die Zahl der Schwingungen der Feder durch Verschieben der Kugel A längs des Drahtes S variirt werden konnte.

Ich begann zuerst das Bündel No. 2 mit dem Bunsen'schen Calorimeter zu untersuchen. Nachdem das Bündel in das Calorimeter eingelegt war und Constanz des Fadens in der Capillaren eingetreten war, wurde der Strom während einer Dauer von 5 Minuten 1260 mal umgeschaltet. Der Quecksilberfaden gab durch sein Zurückgehen wohl eine Erwärmung an, doch wichen die einzelnen mit diesem Bündel gemachten Versuche so beträchtlich von einander ab, dass ich schliesslich einsah, dass das Bunsen'sche Calorimeter für so grosse Massen und so kleine Erwärmungen, wie die hier zu messenden, nicht anzuwenden sei. Da gewöhnlich bei Untersuchungen mit dem Bunsen'schen Calorimeter verhältnissmässig geringe Mengen der Körper zur Verwendung kommen, so verfertigte ich mir ein Drahtbündel von nur 3 cm. Länge. Doch wurde als dieses Bündel wechselnden magnetisirenden Kräften im Calorimeter unterworfen wurde keine Erwärmung angegeben.

Ich bestimmte nun theoretisch mittels der Curve der Momente für auf- und absteigende magnetisirende Kräfte die magnetische Frictionswärme für unendlich kleine Geschwindigkeiten und fand dieselbe für eine Umschaltung des Stromes $= \frac{1{,}3}{10^6}$ Grammcalorien.

Würde ich 1000 Umschaltungen angewandt haben, so würde die ganze Erwärmung sein 0,0013 gr. Cal. Diese Wärme mittels des Bunsen'schen Calorimeters gemessen würde bei einer Capillaren von der Weite wie sie Bunsen angibt, nämlich 0,00007733 Cbcm. für einen Scalentheil = 1 mm. [1]), eine Verschiebung des Quecksilberfadens um 0,0190 Scalentheile hervorbringen. Da diese Verschiebung zu klein ist, um genau gemessen zu werden, anderseits eine engere Röhre anzuwenden des Capillarwiderstandes wegen nicht räthlich war, so versuchte ich ein Luftthermometer zu construiren.

---

§ 4.

An ein cylindrisches Gefäss aus Glas, von 9 cm. Länge und 4 cm. Durchmesser, war mittels eines Schliffstückes luftdicht eine Capillare angesetzt, in der sich ein Petroleumfaden befand. Doch konnte ich auch mit diesem Instrument keine Resultate erzielen, denn trotz der Aufstellung in Wasser und Eiscylinder war keine constante Einstellung des Petroleumfadens zu erreichen, und bei den mit diesem Instrument angestellten Versuchen traten die grössten Unregelmässigkeiten zu Tage.

---

[1]) Pogg. Ann. 141.

Durch die schon pag. 1 erwähnten Versuche von Cazin[1]) wurde ich auf eine Differentialmethode geführt. Zwei gleichgrosse Glasgefässe trugen durch Schliffe angesetzt enge Barometerröhren, in denen sich Petroleumfäden befanden, und beide Röhren, die rechtwinkelig gebogen waren, waren durch eine Capillare, die einen mit Jod gefärbten Aetherfaden enthielt, verbunden. In das eine Gefäss wurden die zu erwärmenden Drähte eingelegt, und beide Gefässe dicht neben einander in das vom Eiscylinder umgebene Wasser eingesenkt. Aber auch mit diesem Apparat war das Experimentiren erfolglos, denn ich überzeugte mich bald, dass der Feuchtigkeitsgehalt der eingeschlossenen Luft den grössten Einfluss auf die Verschiebung des Aetherfadens ausübe. Es zeigte sich dieser Einfluss deutlich dadurch, dass für denselben Draht bei gleicher Intensität der magnetisirenden Kraft, die Verschiebung des Aetherfadens eine verschiedene war, je nachdem die Luft in dem Gefäss, das die Eisendrähte enthielt, durch Chlorcalcium getrocknet oder feucht war. Der Aetherfaden in der Capillaren dient nur als Multiplicator der Verschiebung der Petroleumfäden in den weiteren Barometerröhren. Petroleum schien die geeignetste Flüssigkeit als Index in nicht zu engen Röhren, da es sich ausserordentlich beweglich zeigte.

Es lag nun nahe, ein Flüssigkeitscalorimeter zu verfertigen. Als passendste Flüssigkeit erschien Aether seines grossen Ausdehnungscoefficienten und seiner geringen specifischen Wärme wegen. Ich verfuhr bei Anfertigung eines solchen Calorimeters wie folgt. An das eine Ende einer circa 4 cm. weiten und 9 cm. langen Glasröhre war eine Capillare angeschmolzen.

[1]) Ann. chim. et phys. S. VI. 1505.

Die weite Röhre wurde mit Aether gefüllt, und in diesen die zu untersuchenden Drähte eingelegt. Um diese vor dem angreifenden Einfluss des Aethers zu schützen, waren sie sowie alle noch später untersuchten Eisenmassen in ganz dünnwandige Glasröhren eingeschmolzen. Nun stellten sich aber in Betreff des Verschlusses der unteren Oeffnung der Röhre grosse Schwierigkeiten entgegen. Glasstöpselverschluss verbot sich von selbst, da jedes Dichten des Stöpsels mittels Fett der Löslichkeit desselben in Aether wegen ausgeschlossen war. Gummistopfen schwollen langsam an, so dass kein constantes Einstellen des Aethermeniscus abzusehen war; ähnlich ging es mit Korkstopfen, deren Porosität noch ein zweites Hinderniss der Anwendbarkeit bot.

Um mich von den Unsicherheiten des Verschlusses zu befreien, liess ich das Gefäss, wie ich die weite Röhre fernerhin nennen will, nachdem ich das zu untersuchende Eisen eingelegt hatte, direkt unten zuschmelzen. Indem ich das obere Ende der Capillaren mit einer Luftpumpe verband, konnte ich leicht durch ein seitlich am Gefäss angebrachtes Röhrchen Aether in das Gefäss saugen. War dasselbe gefüllt, so wurde das Röhrchen abgeschmolzen. Doch konnte ich auch mit diesem Apparate keine Messungen anstellen, da sich gewöhnlich an der Ansatzstelle der Capillare eine Luftblase bildete, die sich schwer beseitigen liess.

Der im Folgenden beschriebene von Hern Glasbläser Kramer in Freiburg angefertigte Apparat enthält eine Vorrichtung zur Beseitigung der Luftblase; es ist mit diesem Apparat nach einiger Uebung ausserordentlich leicht und sicher zu arbeiten, er ist in Figur 2 in $^1/_4$ natürlicher Grösse dargestellt. An das ungefähr 16 cm. lange Gefäss G von 4 cm. Durchmesser ist oben die Capillarröhre C angeschmolzen, die, um

sie vor leichtem Zerbrechen zu schützen, von einer auf das Gefäss aufgeschmolzenen Röhre *v*, umgeben ist. Seitlich an dem Gefäss befindet sich eine U förmig gebogene Röhre *Q* von etwa 1 cm. Durchmesser, mit einem Hahne *H*. Bevor das Gefäss unten zugeschmolzen wird, wird die in die dünnwandige Röhre *R* eingeschmolzene, zu untersuchende Eisenmasse eingelegt, die durch die Zäpfchen *z* in der Axe des Apparats gehalten wird. Mittels einer Luftpumpe wird alsdann durch die Capillare Luft aus- und durch die seitliche Röhre *Q* Aether eingesaugt. Um das Verdunsten des Aethers beim Saugen einzuschränken, ist es gut, bei der Füllung des Gefässes den Apparat in eine Kältemischung zu stellen. Ist der ganze Apparat mit Aether gefüllt, so wird durch Saugen ein Theil des Aethers aus der seitlichen Röhre entfernt und etwa bis *m* durch Quecksilber ersetzt, dessen oberes Niveau sich alsdann über dem Hahne *H* befindet, und dieser geschlossen. Durch diese Einrichtung ist man in den Stand gesetzt, jede Luftblase, die sich am Eingang der Capillaren befindet, zu entfernen, sowie den Stand des Aethermeniscus in der Capillaren zu reguliren. Oeffnet man nämlich den Hahn, so wird durch den Quecksilberdruck der Faden in der Capillaren steigen; ist der Stand zu hoch, so kann man durch theilweises Verdampfen des Aethers in der Capillaren den Aethermeniscus an jedem beliebigen Punkt der Röhre bringen. Der Stand des Aethermeniscus wird an einer durchscheinenden Millimeterscala (mit Oel getränkte Papierscala) *T* abgelesen, die von hinten durch eine Gasflamme beleuchtet wird. Um das Verdampfen des Aethers an seiner Oberfläche in der Capillaren zu verzögern und theilweise auch, um die Capillarröhre von Staub frei zu halten, wird eine Glaskappe darüber gestülpt.

Das mit der nöthigen Menge Aether und Quecksilber gefüllte Instrument wird jetzt in das mit eiskaltem Wasser gefüllte, oben beschriebene Gefäss Z_1, in dem ein Eiscylinder E von etwa 2 cm. Wandstärke gefroren ist, eingesenkt. Die Capillarröhre und die seitliche mit Quecksilber gefüllte Röhre Q ragen durch einen dicht schliessenden Deckel hervor, so das der Hahn oberhalb des Deckels sich befindet. Die Aufstellung des Gefässes Z_1 ist dieselbe wie bei dem Bunsen'schen Calorimeter. Schichtet man immer genügende Mengen Eis auf, und bedeckt während der Nacht die Eiskiste mit Stroh, so kann der Eiscylinder über 14 Tage lang halten ohne erneuert zu werden. Der Apparat zeichnet sich durch grosse Constanz der Einstellungen des Aetherfadens aus und ist ganz frei von äusseren Einwirkungen und Störungen, so dass z. B. während einer Nacht, in der der Apparat ausser Thätigkeit war, die Stellung des Aethermeniscus gewöhnlich gar nicht oder nur um einige Scalentheile sich verändert hatte.

---

§ 4.

Aus der Verschiebung des Aethermeniscus lässt sich leicht die Wärme in Calorien bestimmen, die eine Volumvermehrung des Aethers entsprechend jener Verschiebung hervorbringt. Bedeuten v_1 und v_2 die Volumina des Aethers bei t_1^0 resp. t_2^0, v_0 das Volumen bei o^0 so ist

1) $v_1 = v_0 (1 + \alpha\, \alpha\, t_1)$ und $v_2 = v_0 (1 + \alpha\, t_2)$,

wo α den wahren cubischen Ausdehnungs-Coëfficienten des Aethers in der Nähe von 0^0 bedeutet. Aus den Gleichungen 1 folgt:

2) $v_2 - v_1 = q = v_0\, \alpha\, (t_2 - t_1)$,

d. i. die Volumänderung bei einem Temperaturveränderung $t_2 - t_1 = \tau$, also:

$$\varphi = v_0 \alpha \tau$$

Bezeichnet s die Dichte bei 0^0 und m die Masse des Aethers, so ist:

$$3) \quad \varphi = \frac{m}{s} \alpha \tau$$

Nun ist aber um m gr. Aether von 0^0 auf τ^0 zu erwärmen eine Wärmemenge $w = m \tau c$ nöthig, wo c die spec. Wärme des Aethers bedeutet. Diese Beziehung in Gl. 3 berüchsichtigt liefert:

$$\varphi = \frac{\alpha w}{c s}$$

Ist h die Grösse der Verschiebung in cm und q der Querschnitt der Capillaren in Quadrat cm, so ist: $\varphi = q h$ und

$$4) \quad w = \frac{c s q h}{\alpha}$$

Die Wärme ist ausgedrückt in Grammcalorien, d. h., eine Calorie ist die Wärme, die nöthig ist, um 1 Gramm Wasser von der Temperatur 0^0 auf 1^0 des hunderttheiligen Thermometers zu erhöhen.

---

§ 6.

Wegen des wechselnden Gehaltes des Aethers an Wasser und Alcohol habe ich die Grösen s, $\alpha\alpha$, c experimentell zu bestimmen gesucht. Hierzu wurde der Aether genommen, der schon einmal bei den Versuchen zur Füllung des Calorimeters benutzt war. Für die Dichte wurde

mittels Pyknometerwägungen als Mittel aus 4 Versuchen 0,7310 gefunden.

Zur Bestimmung des Ausdehnungscoëfficienten diente ein Thermometerrohr mit Kugel, das mit dem zu untersuchenden Aether gefüllt war. Der Inhalt der Kugel sowohl, als das Volumen eines Scalentheils, waren durch Auswägen mit Quecksilber bestimmt. Bei 0^0 ist das wahre Volumen des Aethers $= V_0$; erwärmt man die Flüssigkeit um t^0, so wird ihr Niveau sich um n Scalentheile verschieben. Bezeichnet v_0 das Volumen eines Scalentheiles bei 0^0, so wird, wenn v die Volumzunahme des Aethers bei einer Erwärmung um t^0 ist, die Beziehung stattfinden:

$$V_0 + v = (V_0 + n\, v_0)\ (1 + \beta\, t)$$

wo β der cubische Ausdehnungscoëfficient des Glases. Die Volumzunahme ist:

$$v = (n\, v_0 + V_0\ \beta\, t),$$

da das Glied $n\, v_0\, \beta\, t$ als verschwindend klein vernachlässigt wird. Ist $t = 1^0$ C., so wird der wahre Ausdehnungscoëfficient des Aethers sein $\alpha = v/V_0$ Bei der von mir ausgeführten Bestimmung war das Volumen des Aethers bei 0^0 gleich 3,0844 Cubikcm., und als Verschiebung des Aetherfadens in Scalentheilen wurden für einen Grad Erwärmung zwischen 0 und 2^0 gefunden:

54,3
53,9
54,3
55,7
54,8
52,3
52,7

51,9
53,8
54,8
54,8
54,4

Das Mittel aus diesen 12 Zahlen liefert für einen Grad Erwärmung eine Verschiebung des Fadens um 53,972 Scalentheile. Das Volumen eines Theils war 0,0000806 Cbcm., mithin $v = 0{,}00446$ Cbcm. und $a = 0{,}00144$. Die Beobachtungen wurden derart gemacht, dass das Thermometer dicht neben einem in Zehntelgrad getheilten Normalthermometer in einem grossen Gefäss mit Wasser hing, dessen Temperatur durch eingelegte Eisstücke variirt wurde.

---

§ 7.

Zur Bestimmung der specifischen Wärme bediente ich mich der Abkühlungsmethode, und liess zu diesem Behufe mir einen Apparat nach Violle[1]) anfertigen, der in Figur 3 im Durchschnitt dargestellt ist. In einer Glaskugel A von 14 cm. Durchmesser befindet sich eine zweite von etwa 5 cm. Durchmesser mit einer angeschmolzenen Röhre c, die durch die erste Kugel A geht. Die innere Kugel ist mit den zu untersuchenden Flüssigkeiten zu füllen. Die Luft des Raumes zwischen den Kugeln A und B ist mittels einer Quecksilberluftpumpe stark verdünnt, um die Zeit der Abkühlung möglichst zu vergrössern. Der Apparat wird allseitig von Eis umgeben und die Kugel B das eine Mal mit einer gewissen Menge Aether, das andere

[1]) Comp. rend. Tome 44. 1882.

Mal mit einer gewissen Menge Wasser gefüllt, und die Röhre C mit einem Kork, durch den ein Thermometer geht, geschlossen. Nun werden die Abkühlungszeiten d. h. die Zeiten, innerhalb deren sowohl der Aether als das Wasser dieselbe Temperaturerniedrigung erfuhren, bestimmt. Bezeichnen c die spec. Wärme des Aethers, m die Masse des angewandten Aethers, M die Masse des Wassers, w den Wasserwerth der inneren Kugel und des Thermometers, t die Abkühlungszeit des Aethers, T die des Wassers, so ist:

$$c = \frac{1}{m}\left\{ (M + w)\,\frac{t}{T} - w \right\}$$

Der Wasserwerth w wurde dadurch besimmt, dass, ehe die innere Kugel eingeschmolzen, eine ihr an Gewicht gleiche von derselben Glassorte angefertigt wurde und mittels der spec. Wärme des Glases der Wasserwerth berechnet wurde. Bei einer Wassermasse $M = 61{,}2219$ gr. und 44,9365 gr. Aether wurde für das Verhältniss der Abkühlungszeiten gefunden:

t/T
0,440
0,444
0,428
0,421
0,469
0,451

oder als Mittel $t/T = 0{,}4421$.

Aus diesen Verhältnissen und den angegebenen Grössen folgt $c = 0{,}5895$. Regnault [1]) findet für Aether von 0,729 Dichte die spec. Wärme = 0,5207,

[1]) Ann. d. chim. et Phys. Ser. 31. 10.

während ich für die Dichte 0,731 die specifische Wärme 0,5895 finde. Regnaults Versuche beziehen sich auf eine Temperatur zwischen 5^0 und 10^0, die meinigen auf eine Temperatur zwischen 0^0 und 2^0. Für die Dichte ist die von Regnault gefundene Zahl um 0,2 % kleiner als die von mir gefundene, indem wahrscheinlich der von mir benutzte Aether wasserhaltiger war als der von Regnault benutzte. Dagegen findet bei der specifischen Wärme Regnault einen Werth der um 13 % kleiner als der von mir angegebene ist. Es ist wohl kaum wahrscheinlich, dass bei einer so geringen Dichtigkeitsverschiedenheit und einer nicht sehr bedeutenden Temperaturverschiedenheit eine so grosse Aenderung der specifischen Wärme eintritt. Nimmt man an, dass der von mir gefundene Werth zu gross sei, so werden alle in der Folge nach der Formel pag. 16 berechneten Zahlen zu gross sein, da der Ausdehnungscoëfficient 0,00144 nicht bedeutend von dem von Kopp gefundenen 0,00148 abweicht, also blos der Zähler des Bruches einen zu grossen Werth erhält. Ich habe bei den folgenden Rechnungen die von mir gefundenen Werthe der Constanten genommen und werden die hiermit abgeleiteten Resultate etwas zu gross sein. Weitere Versuche über die specifische Wärme anzustellen und den Grund des Fehlers festzustellen war mir nicht mehr möglich, und war auch der bei den Messungen benutzte Aether bis auf einen kleinen Rest verbraucht.

Der Querschnitt der Capillaren des Aethercalorimeters wurde mittels Quecksilberwägung gefunden zu 0,0001423 Quadratcentimeter. Hiernach und aus den Werthen für Dichte, Ausdehnungscoëfficient und spec. Wärme nimmt die Formel pag. 20 die Form an;

$$w = \frac{c\,s\,q\,h}{\alpha} = 0{,}04258\ h.$$

§ 8.

Bei den Versuchen wurde folgendermassen verfahren. Hatte der Aetherfaden des Calorimeters eine unveränderliche Einstellung angenommen, so wurde die pag. 12 beschriebene Wippe mehrere Minuten, gewöhnlich 3 Minuten, lang in Thätigkeit gehalten und der Stand des Aethermeniscus von Minute zu Minute abgelesen. Nachdem das Spiel des Interruptors unterbrochen war, wurden die Ablesungen fortgesetzt, bis der Meniscus jene anfängliche Stellung erreicht hatte. In Figur 4, Curve *a* ist die Abhängigkeit der beobachteten Volumänderung von der Zeit graphisch dargestellt, und zwar sind die Zeiten als Abscissen und die der Volumänderung entsprechenden Verschiebungen des Aethermeniscus in Scalentheilen als Ordinaten aufgetragen, nämlich:

Zeiten in Minuten:	1	2	3	4	5	6	7	8
Verschiebung in Scalentheilen:	0,9	18,6	39,3	51,1	51,1	49,5	41,8	37,4

Die Zahlen beziehen sich auf das Bündel No. 2. Der Interruptor war 3 Minuten lang in Bewegung und wurde dann angehalten. An der Curve und den angeführten Zahlenwerthen sieht man jedoch, dass nach Verlauf der 3 Minuten, nachdem also die Wippe nicht

mehr wirkte, während der nächsten 2 Minuten der Aether noch Ausdehnung erfuhr. Dieses rührt davon her, dass dem Aether von dem Eisen durch das Glas hindurch noch Wärme mitgetheilt wurde, und zwar in der ersten Minute mehr als ihm durch das umgebende Eiswasser entzogen wurde. Wenn während der Dauer des Versuchs der Aether keine Wärme an das umgebende Eiswasser abgegeben hätte, so würde die producirte Wärme nach der Formel pag. 20 zu berechnen sein. Während des Versuchs wird aber an das umgebende Wasser Wärme abgegeben, die beobachtete Volumausdehnung also kleiner sein, als die der Erwärmung durch die Eisenmasse entsprechende. Um diesen Verlust an Wärme bei der Beobachtung in Rechnung zu ziehen, wurde folgendes Verfahren angewandt.

An Stelle der Eisenmasse wurde eine um ein Glasrohr von der Weite und Länge des die Eisenmassen umgebenden (vid. pag. 18) gewundene dünne Platinspirale in das Calorimeter eingeführt. Die Platinspirale konnte durch einen durchgeleiteten Strom erwärmt werden. Ich nehme nun an, dass in einer unmerklich kurzen Zeit die Wärme der Spirale an den Aether abgegeben wird. Um nun die Wärmemenge zu bestimmen, welche während einer Minute, z. B. während der vierten des obigen Versuchs, nach Aussen hin abgegeben wurde, resp. die dieser Wärme entsprechende Volumänderung S, wurde wie folgt verfahren. Man regulirte die Stromintensität in der Platinspirale so, dass nach Verlauf der dritten Minute eine gleiche Volumvermehrung eingetreten war, wie nach Ablauf der drei Minuten bei einliegenden und wechselnder Magnetisirung unterworfenen Eisenmassen. Am Ende der dritten Minute wurde der Strom unterbrochen und die Volumverminderung während der

vierten Minute aus der Aenderung des Standes des Aethermeniscus hergeleitet; sie sei γ_3. Ebenso bestimmt man γ_4 während der fünften Minute und erhält

$$\gamma = \frac{\gamma_3 + \gamma_4}{2}$$

Die gemachte Annahme ist nicht genau richtig, weil bei gleicher mittlerer Temperatur die Vertheilung der Wärme bei dem Versuch mit einliegenden Eisenmassen eine andere war, als bei dem Versuch mit der Platinspirale. Die Correction wird eine zu grosse sein, weil bei dem Versuch mit der Platinspirale die Wärmewelle in derselben Zeit weiter fortgeschritten ist, als in dem Versuch mit der Eisenmasse. Doch wird durch diese Correction die berechnete Wärmemenge richtiger sein, als ohne dieselbe.

In der Curve *b* sind die verschiedenen Werthe von γ in den verschiedenen Minuten über derselben Abscisse, wie die Werthe der beobachteten Volumina (nach Scalentheilen gezählt) aufgetragen und diese jenen zugefügt. Für die pag. 25 angegebenen Zahlenwerthe findet sich γ in Scalentheilen ausgedrückt:

Zeit	1	2	3	4	5	6	7	8
γ	0,05	1,75	6,35	11,85	17,35	22,85,	28,25	23,8

Diese zweite Curve *b* wird als die Curve der wirklichen Volumausdehnung angesehen, und der dem höchsten Punkt der Curve entsprechende Werth von *h* in die Formel eingeführt.

---

§ 9.

Mit jedem Draht oder Drahtbündel wurden vier

Bestimmungen ausgeführt, ich will dieselben für das Drahtbündel No. 1 näher erörtern. Es wurde durch magnetometrische Versuche der Arbeitswerth bestimmt, welcher der magnetischen Frictionswärme für unendlich langsame Veränderungen der magnetisirenden Kraft entsprach. Das Drahtbündel wurde nicht in die bei den calorimetrischen Versuchen benutzte Spirale, sondern in die pag. 6 beschriebene Spirale gelegt und wirkte auf eine kleine Nadel, wie pag. 9 beschrieben. Das Maximum der Intensität des magnetisirenden Stromes wurde dabei entsprechend kleiner gemacht, so dass das Maximum des magnetischen Moments bei den calorimetrischen nnd magnetometrischen Versuchen das gleiche war. Die Intensität des Stromes wurde durch eine Tangentenbussole bestimmt. Zuerst wurde durch Variirung des Widerstandes nach der pag. 4 angegebenen Methode die magnetisirende Kraft von 0 auf verschiedene Werthe gesteigert, und das magnetische Moment aus den Ablenkungen der Magnetometernadel nach der Formel pag. 9 bestimmt. Es wurden für K/H, das Verhältniss der magnetisirenden Kraft K zur Horizontalcomponente H in Freiburg, m/H das Verhältniss des magnetisirenden Moments m des Gramm Eisen zur Horizontalcomponente gefunden:

K/H	0	33,23	48,81	111,9	170,2
m/H	66,2	99,4	162,1	316,7	476,5

Nun wurde die magnetisirende Kraft von dem Werthe 170,2 auf dieselben Werthe wie für aufsteigende Kräfte bis zu 0 verkleinert und ebenfalls die Momente bestimmt. Es wurde gefunden:

K/H	170,2	111,9	48,81	33,23	0
m/H	476,5	397,6	257,8	128,4	66,2

Die Differenzen y der Werthe m/H für dieselben Werthe der magnetisirenden Kraft ergeben sich hieraus:

K/H	170,2	111,9	48,81	33,23	0
y	0	80,9	95,7	29,0	0

Die der magnetischen Frictionswärme entsprechende Arbeit $A = H^2 \int y \, d \, K^1$, — wo $K^1 = \frac{K}{H}$ — wurde aus diesen Zahlen folgendermassen bestimmt. y wurde als Funktion von K/H auf Coordnatenpapier (in Quadratmillimeter eingetheiltes Papier) aufgetragen und die Grösse der von der entstandenen Curve und der Abscissenaxe eingeschlossene Fläche durch Abzählen nach Quadratmillimeter näherungsweise ermittelt. Es ist diese Arbeit also entsprechend einer Wärmemenge, die bei einer Ausschaltung des Interruptors in der betreffenden Eisenmasse per Gramm erzeugt wird, denn die Kraft K wuchs von 0 auf einen gewissen Werth K_1 und nahm von hier zur 0 ab. Die Wärme a berechnet sich nun aus der Arbeit nach der Formel

$$a = \frac{A}{g \, . \, 425} \text{ wo } g = 980{,}8 \text{ ist.}$$

Bei dem vorliegenden Drahtbündel war

$$A = 383{,}468; \; a = \frac{9{,}20}{10^6} \text{ gramm Cal.}$$

Die zweite Versuchsreihe wurde angestellt, indem die Kraft K/H von einem Werthe 0 an wuchs bis zu einem Maximum und von hier nach 0 abnahm. Nun wurde die Stromrichtung gewechselt, die Kraft wuchs wieder zu einem Maximum auf der entgegengesetzten Seite und fiel wieder zu 0 zurück. Es entspricht dieser

Fall einer Umschaltung des Interruptors. Es wurden dabei für die Werthe der magnetisirenden Kraft K/H folgende Werthe m/H für die magnetischen Momente gefunden. Es seien m/H *asc* die Werthe des Moments für auf steigende m/H *desc* für absteigende Kräfte so ist

K/H	167,6	111,0	61,24	34	0	−34	−62,8	−118,5	−168,2
m/H *desc*	445,3	401,2	271,8	187,7	66,29	−62,8	−147,3	−313,9	−404,9
m/H *asc*	445,3	309,2	139,9	38,9	−66,29	−191,5	−275,8	−379,1	−404,9

Der Werth für die Arbeit wurde wie vorhin angegeben näherungsweise bestimmt und gefunden:

$$A = 1205,84$$

und die hieraus abgeleitete Wärme

$$u = 28,93.$$

Nun wurde das Drahtbündel calorimetrisch untersucht, indem es in das Calorimeter eingesetzt wurde. Der magnetisirende Strom wurde wieder so abgeglichen, dass die magnetisirende Kraft im Maximum ihrer Intensität gleichkam dem Maximum der Intensität der Kraft bei den magnetometrischen Versuchen. Der Interruptor wurde jetzt in Bewegung gesetzt, zuerst ausschaltend (pag. 14) drei Minuten lang wirkend, und die Verschiebung des Aethermeniscus in der Capillaren des Calorimeters beobachtet. Der Interruptor machte 250 Schwingungen pro Minute. Nach drei Minuten wurde das Spiel des Interruptors unterbrochen und der Stand des Aethermeniscus noch einige Minuten lang beobachtet. Hatte der Aethermeniscus eine feste Einstellung wieder erreicht, gewöhnlich in der Nähe der Einstellung vor Beginn der Ausschaltungsversuche, so liess man den Interruptor umschaltend ebenfalls drei Minuten lang wirken und beobachtete wie bei den Ausschaltungen. Dividirte man die Anzahl Scalentheile um die sich der Aethermeniscus des Calori-

meters verschoben hatte durch die Anzahl der Schwingungen des Interruptors, so wurde die Wärme für eine Aus- resp. Umschaltung gefunden.

Schliesslich wurde der Correctionsversuch wegen des Verlustes an Wärmeleitung, wie pag. 25—27 näher angegeben, für das betreffende Bündel ausgeführt. Analoge Versuche wurden mit den verschiedenen Eisenmassen angestellt und die Resultate gefunden, die in folgender Tabelle zusammengestellt sind.

Es bedeuten a die dem magnetomerisch gefunden Arbeitswerthe A entsprechende magnetische Frictionswärme für eine Ausschaltung u dieselbe für eine Umschaltung; a_1 u_1 die calorimetrisch gemessene Wärme für eine Ausschaltung (a_1) resp. eine Umschaltung (u_1) ohne Berücksichtigung des Verlustes an Wärmeleitung, a_2 u_2 dieselbe Wärme mit Berücksichtigung des Verlustes; die Wärme ist angegeben in Milliontelgrammcalorien. Alle Angaben beziehen sich auf das Gramm Eisen.

	Gewicht in Gr.	Durchmesser eines Drahts	a	a_1	a_2	u	u_1	u_2
Drahtbündel No 1	14,767	0,0227 cm.	9,20	3,7	5,27	28,93	11,79	17,62
Drahtbündel No. 2	14,474	0,0674 cm.	4,93	3,49	5,18	17,60	10,82	17,40
Stab No. 3 . . .	13,010	0,4 cm.	5,08	9,18	13,28	18,88	36,91	46,0
Stab No. 4 . . .	39,322	0,7 cm.	0,37	3,64	5,61	1,55	7,43	10,115
Lamellenbündel No. 5	12,995	0,0165 cm. Breite 0,7 cm.	3,69	1,55	2,35	12,02	5,65	7,82

Es folgen nun der Vollständigkeit halber noch die Tabellen für die magnetischen Momente der untersuchten Massen bei den verschiedenen Werthen der magnetisirenden Kraft. Die Zahlen sind Mittel aus mehreren, gewöhnlich drei Versuchen.

No. 1. Drahtbündel. Gewicht 14,767 gr. Durchmesser 0,0228 cm.

$\frac{K}{H}$	170,2	111,9	48,81	33,23	0
$\frac{m}{H}desc$	476,5	397,6	257,8	128,4	66,2
$\frac{m}{H}asc$	476,5	316,7	162,1	99,4	66,2
y	0	80,9	95,7	29,0	0

$A = 383{,}468$
$a = 9{,}20$
$a_1 = 3{,}7$
$a_2 = 5{,}27$

$\frac{K}{H}$	+167,6	+111,0	+61,24	+ 34	0	−34	−62,8	−118,5	−168,2
$\frac{m}{H}desc$	445,3	+401,2	+271,8	+187,7	+66,29	−62,6	−147,3	−313,9	−404,9
$\frac{m}{H}asc$	+445,3	+309,2	+139,9	+ 38,9	−66,29	−191,5	−275,8	−379,1	−404,9
y	0	92	131,9	128,8	132.5	128,9	128,5	55,2	0

$A = 1205{,}84$
$a = 28{,}93$
$a_1 = 11{,}79$
$a_2 = 17{,}62$

No. 2. Drahtbündel. Gewicht: 14,474. Durchmesser: 0,0674 cm.

$\frac{K}{H}$	167,7	114	62,3	31,9	0
$\frac{m}{H} desc$	445,8	367,9	237,8	148,7	50,5
$\frac{m}{H} asc$	445,8	334,4	180,7	116,8	50,5
y	0	33,5	57,1	31,9	0

$$A = 188{,}28$$
$$a = 4{,}93$$
$$a_1 = 3{,}49$$
$$a_2 = 5{,}18$$

$\frac{H}{K}$	+167,6	+114,0	+62,3	+31,9	0	—31,9	—64,75	—116,3	—168,2
$\frac{m}{H} desc$	+445	+382,7	+230,3	+129,8	+40,98	—63,1	—163,5	—290,0	—393,7
$\frac{m}{H} asc$	+445	+330,7	—167,2	+66,4	—33,4	—135,6	—230,4	—356,6	—393,7
y	0	52	63,1	63,4	74,3	72,5	66,9	66,6	0

$$A = 733{,}712$$
$$u = 17{,}60$$
$$u_1 = 10{,}82$$
$$u_2 = 17{,}40$$

No. 3. Stab. Gewicht: 13,010 gr. Durchmesser: 0,4 cm.

$\frac{H}{K}$	170,7	105,1	61,95	36,71	0
$\frac{m}{H} desc$	283,0	227,9	161,1	115,3	26,05
$\frac{m}{H} asc$	283,0	199,8	115,3	74.09	26,05
y	0	28,1	45,8	41,21	0

$$A = 211{,}933$$
$$a = 5{,}08$$
$$a_1 = 9{,}18$$
$$a_2 = 13{,}28$$

$\frac{K}{H}$	+170,7	+105,1	+61,9	+36,7	0	—36,7	—61,9	—108,5	—170,2
$\frac{m}{H} desc$	+283,0	+227,9	+156,7	+108,9	+26,05	—69,7	—122	—228,6	—330,5
$\frac{m}{H} asc$	+283,0	+178,5	+78,35	+30,36	—67,48	—152,0	—195,8	—269,8	—330,5
y	0	49,4	78,35	78,66	93,53	82,27	73,8	41,2	0

$$A = 787{,}368$$
$$u = 18{,}88$$
$$u_1 = 36{,}91$$
$$u_2 = 46{,}0$$

No. 4. Stab. Gewicht: 39,322 gr. Durchmesser 0,7 cm.

$\frac{K}{H}$	167,6	114	62,3	31,9	0
$\frac{M}{H}desc.$	154,5	121	68,6	38.1	5,74
$\frac{m}{H}asc.$	154,5	118,3	64,3	35,5	5,75
y	0	2,7	4,3	2,5	0

$$A = 16{,}0$$
$$a = 0{,}37$$
$$a_1 = 3{,}64$$
$$a_2 = 5{,}61$$

$\frac{K}{H}$	+167,6	+114,0	+62,3	+31,9	0	—31,9	—64,7	—116,3	—168,2
$\frac{m}{H}desc$	154,5	+120,7	+68,6	+39,6	+4,7	—28,73	—62,9	—120,3	—139,5
$\frac{m}{H}asc$	154,5	+117,6	+58,8	+31,4	—2,7	—36,2	—69,1	—121	—139,5
y	0	3,1	9,8	8,2	7,5	7,5	6,2	0,7	0

$$A = 64{,}84$$
$$u = 1{,}55$$
$$u_1 = 7{,}43$$
$$u_2 = 10{,}115.$$

No. 5. Lamellen. Gewicht: 12,995 gr. Dicke = 0,0165 cm. Breite = 0,7 cm.

$\frac{K}{H}$	167,6	114,0	62,3	31,9	0
$\frac{m}{H}desc$	431,4	372,5	240,1	142,8	28,9
$\frac{m}{H}asc.$	431,4	351,8	199,5	108,5	28,9
y	0	20,7	40,6	34,3	0

A = 154,008
a = 3,69
a_1 = 1,55
a_2 = 2,35

$\frac{K}{H}$	+167,6	+114,0	+62,3	+31,9	0	—31,9	—64,7	—116,3	—168,2
$\frac{m}{H}desc.$	431,4	+384,9	+240,9	+11,6	+25,6	—91,06	—194,5	—356,8	—435,6
$\frac{m}{H}asc.$	431,4	+360,1	+190	+99,3	—24,8	—149,9	—252,5	—393,1	—435,6
y	0	24,8	50.9	46.7	50,4	58,9	58	36,3	0

A 509,704
u 12.02
u_1 5,65
u_2 7,82.

§ 10.

Aus den angeführten Tabellen ist ersichtlich, dass die Momente wenigstens für aufsteigende magnetisirende Kräfte diesen ungefähr proportional sind, dass also der Grad der Sättigung sich dem Wendepunkt nähert.*)

Das Maximum der magnetisirenden Kraft ist für alle Eisenmassen nahezu dasselbe, nämlich 170. Die mittlere Magnetisirungszahl, d. h. der Quotient aus dem mittleren in der Volumeinheit vorhandenen Momente in die dabei wirksame magnetisirende Kraft, ergiebt sich für den grössten vorkommenden Werth der magnetisirenden Kraft:

Nro. 1 zu 21,7
Nro. 2 „ 20,8
Nro. 3 „ 12,9
Nro. 4 „ 7,2
Nro. 5 „ 20,1

Dieses entspricht den Untersuchungen von Waltenhofen,**) dass die Magnetisirungszahl bei den hier stattfindenden Sättigungsgraden für Bündel aus dünnen Drähten sich grösser stellt, als für massive Drähte.

---

§ 11.

Wäre die Ursache der Wärmeerzeugung nur in dem electrischen Leitungsvermögen der Metalle zu suchen und die Coërcitivkraft=0, so müsste die bei der Umschaltung producirte Wärme gleich der doppelten bei der Ausschaltung producirten sein, da eine Umschaltung als 2 aufeinanderfolgende Ausschaltungen angesehen werden kann.

Bei dem dicksten der Stäbe Nro. 4 zeigt sich dieses Verhalten nahezu, denn es ist

$a_2 = 5{,}61\ u_2$, $= 10{,}11$ also u_2 nahezu $= 2a_2$.

---

*) Wied. Galv. 2. Aufl. II. Bd. p 352—354.

**) Wien. Ber. 61. II. Abth. 1870.

Für die andern Eisenmassen ist jenes Verhältniss $\frac{u_2}{a_2} > 2$. Es ist dies eine doppelte Folge der Coërcitivkraft, erstens eine directe, indem von dieser Kraft die magnetische Frictionswärme herrührt, zweitens eine indirecte, indem bei wechselnder Richtung der Magnetisirung nicht nur der temporäre sondern auch der permanente Magnetismus das Zeichen wechselt; aus diesem Grunde muss die electromagnetische Wärme in jedem der beiden Theile der Umschaltung grösser sein, als bei der Ausschaltung.

Um diesen Einfluss des permanenten Moments näher zu studiren, nehmen wir die Tabellen pag. 32 — 36 zu Hilfe und sehen, dass währernd bei den Drähten und Lamellen Nro. 1 Nro. 2 Nro. 3 Nro. 5 das permanente Moment einen erheblichen Bruchtheil z. B. bei Nro. 1 $^1/_6$ des temporären Moments beim Maximum der Intensität der magnetisirenden Kraft ausmacht bei dem dicken Stab dieses Verhältniss $^1/_{30}$ beträgt. Hieraus ist ersichtlich, dass bei dem dicken Stab die electromagnetische Wärme wenig von der Coërcitivkraft beeinflusst wird und da, wie später gezeigt wird, für den dicken Stab die Frictionswärme einen kleinen Bruchtheil der electromagnetischen Wärme ausmacht, so erklärt sich, dass für diesen Stab $2a_2$ nahezu $= u_2$ ist.

Um durch ein directes Experiment, bei welchem die Frictionswärme gar nicht in Betracht kommt, den Einfluss der Coërcitivkraft auf die electromagnetische Wärme darzulegen, wurde mit jeder der benutzten Eisenmassen folgender Versuch angestellt. Dieselbe wurde in eine eng an sie anschliesende Spirale von 464 Windungen und einem Widerstand von 6,5 *S. E.* eingelegt. In den Schliessungskreis dieser

Spirale wurde eine Spirale von 25,5 *S. E.* Widerstand eingeschaltet. Diese Platinspirale befand sich in dem oben beschriebenen Aethercalorimeter. Dasselbe war aufgestellt wie früher angegeben, nur wurde an Stelle des Gefässes Z_1 ein anderes benutzt, in dem auch ein Eiscylinder gefroren war. Die von der Spirale S umgebenen Eisenmassen wurden wie bei den früheren Versuchen in das mit der Spirale umwundene Gefäss Z_1 eingelegt, und die beim Spiel des Interruptors in dem Platindraht erzeugten Wärmemengen G_1 für Ausschaltung, G_2 für Umschaltung gemessen. In der folgenden Tabelle sind die Resultate dieser Versuche enthalten

	$\frac{G_2}{G_1}$	$\frac{u_2}{u_1}$
Nro. 1	3,04	3,34
Nro. 2	2,40	3,37
Nro. 3	2,50	3,46
Nro. 4	1,80	1,80
Nro. 5	2,20	3,32

Für den dicken Stab Nro. 4 ergibt sich:
$\frac{G_2}{G_1} = \frac{u_2}{u_1} = 1{,}80$; für die andern Eisenmassen ist $\frac{G_2}{G_1} > 2$, wodurch die Wirkung der Coërcitivkraft auf die electromagnetische Wärme dargethan ist.

Bei diesen Versuchen wurde noch mittels eines Disjunctors die electromagnetische Wärme des Schliessungs- und Oeffnungsstromes bei der Ausschaltung getrennt untersucht. Beide Wärmemengen ergaben sich genau gleich. Auch hatte die Einschaltung des Fizeau'schen Condensators keinen Einfluss auf die erregte Wärme, obgleich durch denselben der Oeffnungsfunke am Disjunctor fast ganz zum Verschwinden gebracht wurde.

Herr Professor Warburg hat gezeigt, dass die Wärmeproduktion durch den Thomsen'schen Effect (§ 1) eine verschwindende ist, und weiter die electromagnetiche Wärme[1]) auf theoretischem Wege berechnet; er findet für die electromagnetische Wärme einen oberen Grenzwerth E_1 bei einer Ausschaltung, einen E_2 bei einer Umschaltung. In folgender Tabelle sind die Werthe von E_1 und E_2 sowie mit Hilfe der Tabelle pag 27 die Verhältnisse $\frac{E_1}{a_2}$ und $\frac{E_2}{a_2}$ zusammengestellt.

	E_1	E_2	$\frac{E_1}{a_2}$	$\frac{E_2}{a_2}$
Nro. 1	0,58	1,76	0,11	0,10
Nro. 2	1,34	3,22	0,26	0,19
Nro. 3	73,7	183,3	5,5	4,0
Nro. 4	78,0	140,4	13,9	13,9

Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, dass einerseits für den Stab Nro. 4 der grösste Theil der gemessenen Wärme electromagnetische ist, während andererseits für das Bündel 1 die electromagnetische Wärme höchstens **10**% und **11**%, für Bündel 2 höchstens **26**% und **29**% der calorimetrisch gemessenen ganzen Wärme für Ausschaltung und Umschaltung beträgt. Die übrigen circa **70**% und **90**% der gemessenen Wärme fallen daher der magnetischen Frictionswärme zu.

Schliesslich seien noch die Verhältnisse zusammengestellt $\frac{a_2}{a}$ und $\frac{u_2}{u}$ d. h. die Verhältnisse aus der magnetischen Frictionswärme a, u für unendlich kleine Geschwindigkeit bestimmt durch statisch, magnetische Versuche, in die calorimetrisch gemessene Wärme a_2, u_2 für Ausschaltung und Umschaltung.

---

[1]) Festschrift der 56. Versammlung deutscher Naturforscher und Aerzte pag. 18 f. f.

	a_2 / a	u_2 / u
Nro. 1	0,58	0,63
Nro. 2	1,06	0,99
Nro. 3	2,61	2,43
Nro. 4	14,0	6,31
Nro. 5	0,65	0,65

Es zeigt sich hier wieder das Wachsen des Verhältnisses mit zunehmender Dicke der Drähte, entsprechend dem grösseren Einfluss der electromagnetischen Wärme bei dicken als bei dünnen Drähten.

Wenn man die calorimetrischen Versuche als gesichert ansieht, so folgt aus diesen Zahlen, dass die magnetische Frictionswärme bei den calorimetrischen Versuchen sich kleiner ergiebt als bei den statisch magnetischen. Es kann dies verschiedene Gründe haben. Es kann einmal daher rühren, dass die magnetische Frictionswärme für unendlich langsame Aenderung der Geschwindigkeit der magnetisirenden Kraft eine andere ist, als wenn die Aenderung nur in einem Bruchtheile einer Secunde vor sich geht.

Ein zweiter Grund wäre der, dass der in sehr kurzer Zeit stattfindende Wechsel der magnetisirenden Kraft bei den calorimetrischen Versuchen ähnlich wie Erschütterungen auf die Eisenmasse wirkt. Herr Prof. Warburg hat aber gezeigt[1], dass die durch statische Versuche bestimmte Arbeitscurve kleiner wird, wenn der Draht während der Magnetisirung erschüttert wird. Endlich wurde möglicherweise beim Spiel des Interruptors der constante Endwerth der Stromintensität wegen der Selbstinduction nicht völlig erreicht.

---

[1] Wied. Ann. 13, 141, 1881.

§ 12.

Kurz zusammengefasst ist das Resultat der vorliegenden Untersuchung folgendes:

Zur Messung der Wärme, die bei periodischer Aenderung des magnetischen Zustandes in einer Eisenmasse producirt wird, ist als passender Apparat ein Aethercalorimeter von der angegebenen Construction zu benutzen. Dagegen hat sich der Gebrauch des Bunsen'schen Calorimeters oder eines Luftcalorimeters hier nicht bewährt.

Die electromagnetische Wärme tritt bei den dicken Drähten mehr hervor als bei den dünnen und hat den grössten Betrag zur gemessenen Wärme bei den Drähten No. 3 und No. 4 geliefert. Bei den dünneren Drähten und Lamellen dagegen ist der grössere Theil der gemessenen Wärme magnetische Frictionswärme.

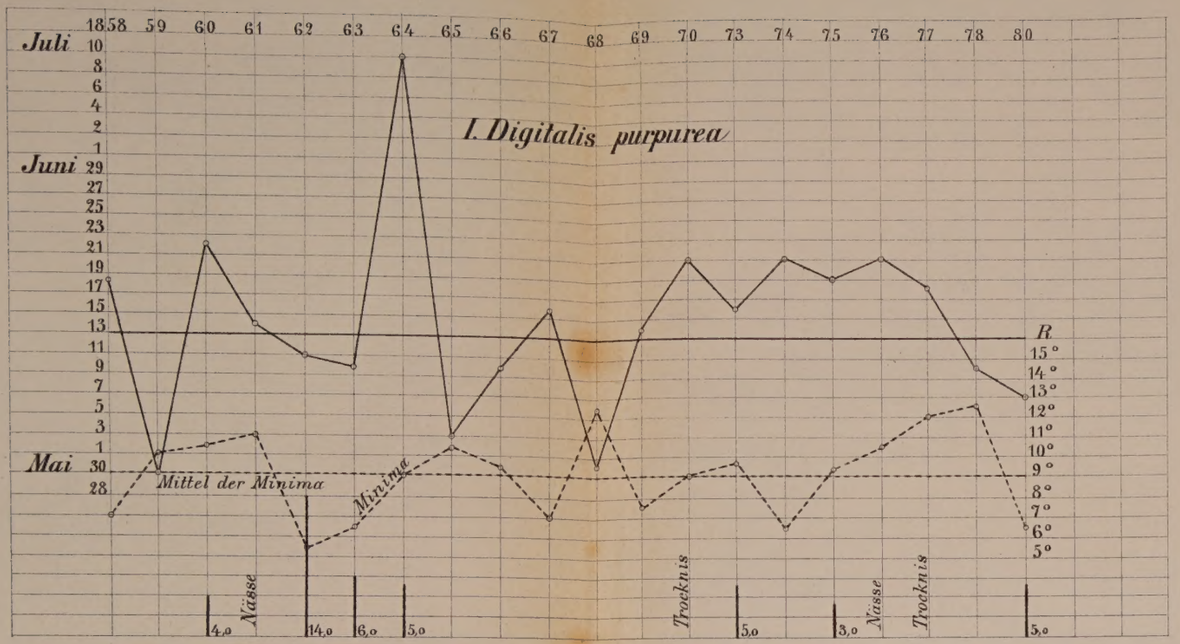
Bei dem Bündel Nr. 1 ist die beobachtete Wärme etwa 0,6 der magnetischen Frictionswärme für unendlich kleine Geschwindigkeit gefunden, ein ähnliches Verhältniss 0,65 findet sich für das Lamellenbündel No. 5. Die magnetische Frictionswärme ist also jedenfalls verhältnissmässig wenig verschieden, mag eine Aenderung der Magnetisirung in einem Bruchtheil einer Secunde oder unendlich langsam erfolgen.

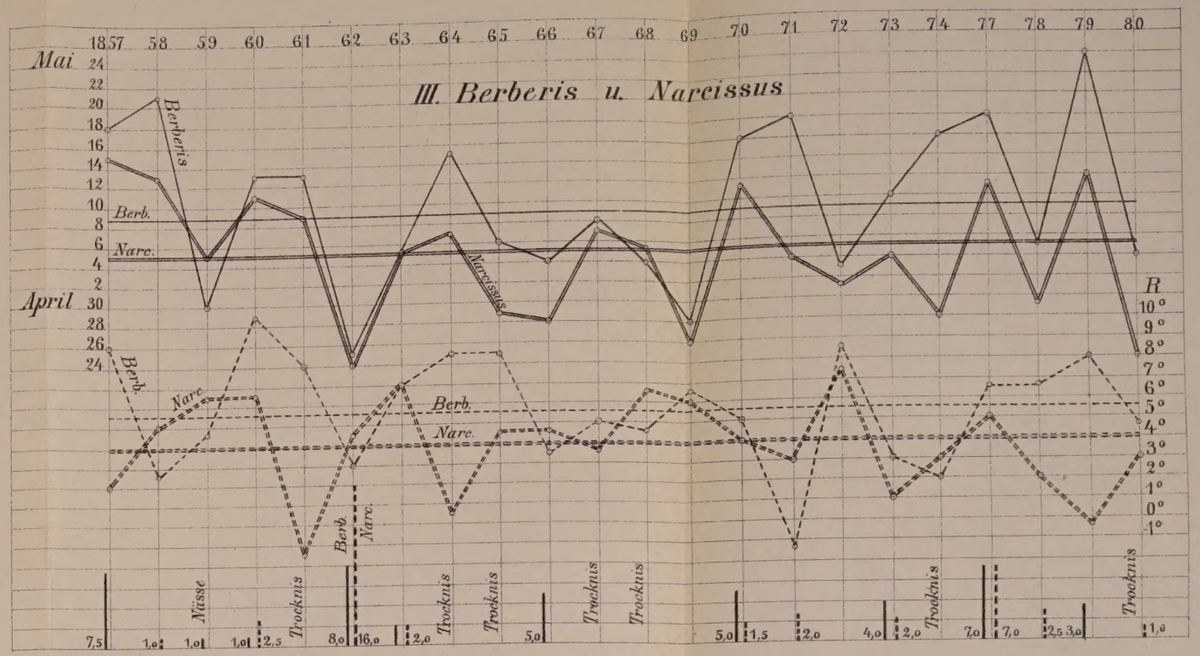
Die vorstehenden Untersuchungen wurden im physikalischen Institut der Universität Freiburg i. B. auf Veranlassung und unter Leitung des Herrn Prof. Dr. E. WARBURG ausgeführt. Es sei mir vergönnt meinem hochverehrten Lehrer Herrn Prof. Dr. E. WARBURG für die mir bei meiner Arbeit in liebenswürdigster Weise ertheilte Unterstützung und Anregung an dieser Stelle meinen wärmsten Dank auszusprechen.

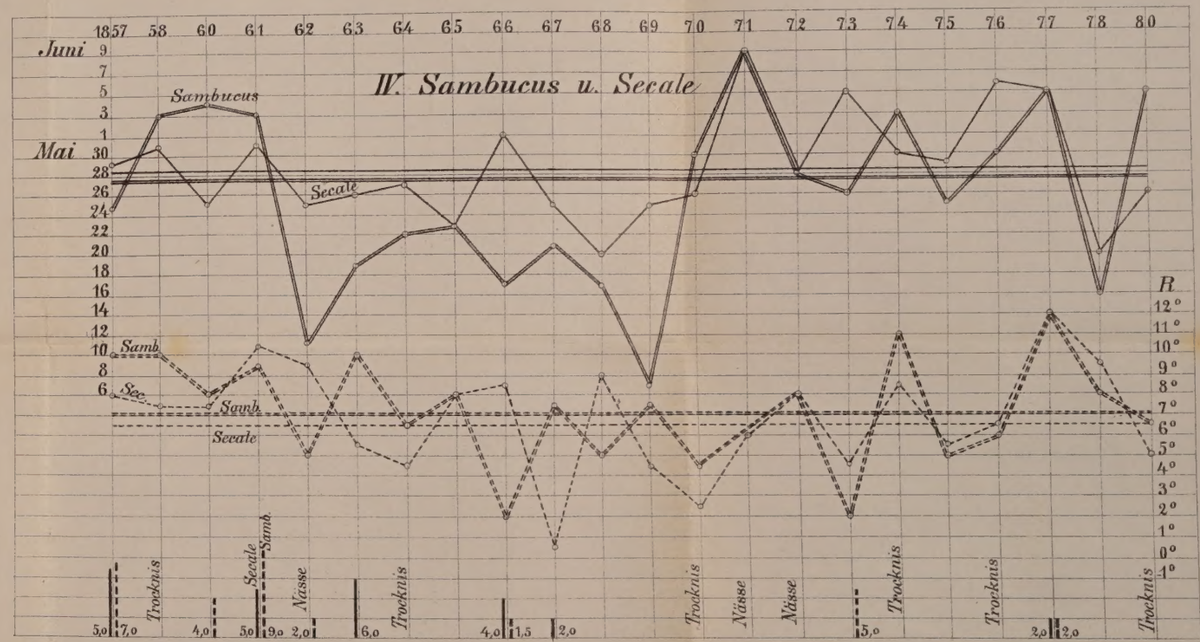
Freiburg i. B., im August 1885.

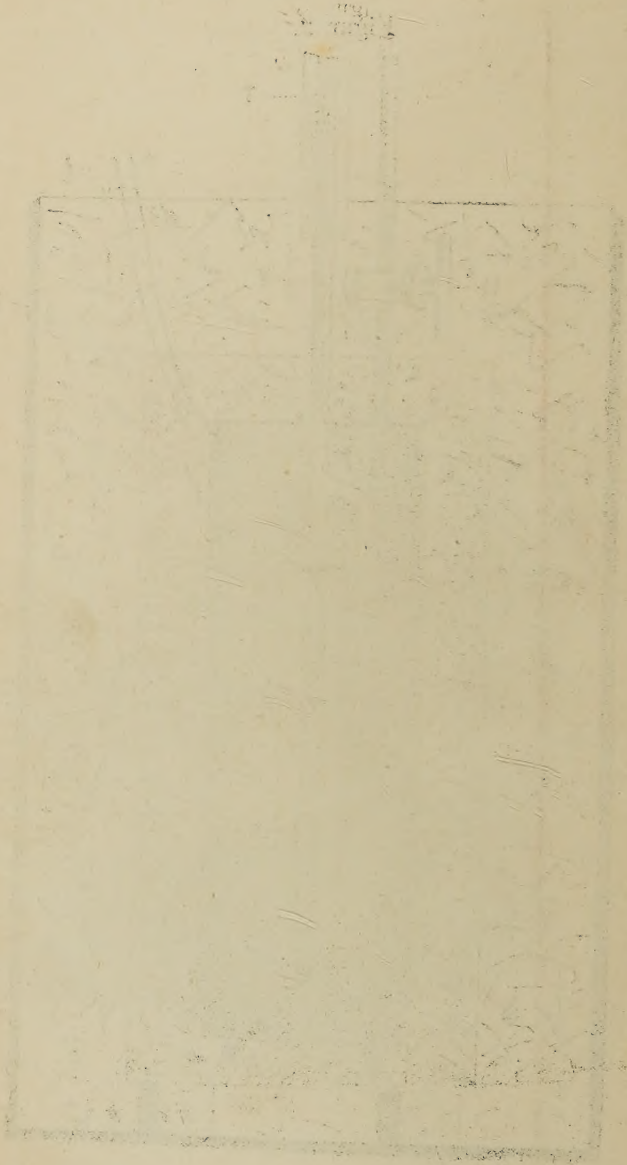
Ludwig Hönig.

Phänologische Succession und Inversion.







del. L. Rahn.

Lith. Anst. v. Loos & Reineke in Giessen.